



PATENT
32860-000292/US

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: Hubert De STEUR et al.

Application No.: 10/079,895

Conf. No.: 7385

Filed: February 22, 2002

For: METHOD FOR DRILLING MICRO-HOLES WITH A LASER BEAM

PRIORITY LETTER

May 13, 2002

Honorable Commissioner of Patents and Trademarks
Washington, DC 20231

Dear Sirs:

Pursuant to the provisions of 35 U.S.C. 119, enclosed is/are a certified copy of the following priority document(s).

<u>Application No.</u>	<u>Date Filed</u>	<u>Country</u>
10125397.4	May 23, 2001	GERMANY

In support of Applicant's priority claim, please enter this document into the file.

Respectfully submitted,

HARNESS, DICKEY, & PIERCE, P.L.C.

By _____


Donald J. Daley, Reg. No. 34,313

P.O. Box 8910
Reston, Virginia 20195
(703) 390-3030

THIS PAGE BLANK (USPTO)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

Aktenzeichen: 101 25 397.4
Anmeldetag: 23. Mai 2001
Anmelder/Inhaber: Siemens Dematic AG, Nürnberg/DE
Bezeichnung: Verfahren zum Bohren von Mikrolöchern
mit einem Laserstrahl
IPC: B 23 K 26/38

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 07. März 2002
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident

Im Auftrag

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Beschreibung

Verfahren zum Bohren von Mikrolöchern mit einem Laserstrahl

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bohren von Mikrolöchern in einem Mehrschichtsubstrat mit einer ersten und mindestens einer zweiten Metallschicht und mit jeweils einer zwischen zwei Metallschichten angeordneten Dielektrikums-
10 schicht durch Bestrahlung mit dem Energiestrahl eines Fest-
körperlasers, wobei die Bestrahlung in zwei Stufen derart er-
folgt, daß in der ersten Stufe jeweils die erste Metall-
schicht und ein Teil der darunterliegenden Dielektrikums-
schicht und daß in der zweiten Stufe die Dielektrikumsschicht
sauber bis auf die zweite Metallschicht abgetragen wird.

15 Im Zuge der Miniaturisierung von elektrischen Schaltungssub-
straten ist es zunehmend erforderlich, sowohl Durchgangslö-
cher als auch Sacklöcher mit Durchmessern von weniger als 200
µm zu erzeugen, die kaum noch mit mechanischen Bohrern oder
20 Stanznadeln erzeugt werden können. In diesem Bereich ist es
schon lange üblich, Mikrolöcher mittels Laserbohren herzu-
stellen. Allerdings ergibt sich dabei das Problem, daß die
unterschiedlichen Materialien, also Leitermaterialien, wie
25 Kupfer, einerseits und Dielektrika, wie etwa Polymere mit und
ohne Glasfaserverstärkung, andererseits gänzlich unterschied-
liche Anforderungen an die Laserbearbeitung stellen. So ist
es durchaus bekannt, welche Laser in welchem Wellenlängenbe-
reich optimal für das Bohren in Metallen oder für das Bohren
in Kunststoffen geeignet sind. Probleme treten dann auf, wenn
30 Mehrschichtsubstrate mit ein und demselben Laser durchgebohrt
oder zur Herstellung einer leitenden Verbindung zu einer me-
tallischen Zwischenlage mit Sacklöchern versehen werden sol-
len. Beim Bohren derartiger unterschiedlicher Materialschich-
ten können negative thermische Effekte auftreten, wie bei-
35 spielsweise Ablöseeffekte zwischen Metallschichten und Die-
lektrikumsschichten, Schädigung des Dielektrikums selbst oder

ein unbeabsichtigtes Durchbohren einer Metallschicht, die mit einem Sackloch kontaktiert werden soll.

In der US 5 593 606 A ist ein Verfahren zum Bohren von Mikrolöchern in einem Mehrschichtsubstrat beschrieben, bei dem mittels eines UV-Lasers mit ein und derselben Dimensionierung mindestens zwei Schichten mit unterschiedlichen Eigenschaften vollständig durchgebohrt werden sollen. Wenn allerdings der Laserstrahl so dimensioniert ist, daß er eine erste Metallschicht durchbohrt und danach eine Dielektrikumsschicht vollständig abträgt, besteht ohne weiteres die Gefahr, daß er an der zweiten Metallschicht nicht rechtzeitig zum Stehen kommt und daß dabei die zweite Metallschicht mehr oder weniger mit angegriffen wird, wenn nicht durch entsprechende Meßeinrichtungen das Erreichen der gewünschten Bohrtiefe festgestellt und der Bohrvorgang rechtzeitig gestoppt wird.

Um diesem Problem zu begegnen, wird in der US 5 841 099 ein zweistufiges Verfahren (beim Bohren von zwei Schichten) vorgeschlagen, wobei der Laser in einer ersten Stufe zum Bohren einer ersten Metallschicht auf eine höhere Energiedichte eingestellt wird und wobei in der zweiten Stufe zum Bohren einer Dielektrikumsschicht die Energiedichte des Lasers soweit gesenkt wird, daß die Schwelle zur Verdampfung von Metall unterschritten wird. Damit kann der Laser aufgrund seiner niedrigeren Energiedichte eine an die Dielektrikumsschicht angrenzende zweite Metallschicht nicht mehr durchbohren. Um diese niedrigere Energiedichte in der zweiten Stufe einzustellen, wird dort vorgeschlagen, die Wiederholrate des Lasers zu erhöhen. Allerdings erhält man auf diese Weise keine optimale Ausnutzung der Laserenergie und keine optimale Bearbeitungsgeschwindigkeit.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, das eingangs genannte zweistufige Verfahren zum Bohren von Mikrolöchern mittels eines Lasers so zu gestalten, daß die Mikrolöcher in guter Qualität und mit möglichst hoher Bearbeitungsgeschwindigkeit hergestellt werden.

digkeit unter optimaler Ausnutzung der Laserleistung erzeugt werden können.

Erfindungsgemäß wird dieses Ziel erreicht mit einem Verfahren 5 zum Bohren von Mikrolöchern in einem Mehrschichtsubstrat mit einer ersten und mindestens einer zweiten Metallschicht und mit jeweils einer zwischen zwei Metallschichten angeordneten Dielektrikumsschicht durch Bestrahlung mit dem Energiestrahl eines Festkörperlasers mit einer Wiederholfrequenz von mindestens 10 kHz, einer Wellenlänge von weniger als 1100 nm und einer Pulslänge von weniger als 50 ns, wobei die Bestrahlung 10 in zwei Stufen derart erfolgt, daß in der ersten Stufe jeweils die erste Metallschicht und ein Teil der darunterliegenden Dielektrikumsschicht und daß in der zweiten Stufe die 15 Dielektrikumsschicht sauber bis auf die zweite Metallschicht abgetragen wird, mit folgenden Schritten:

- in der ersten Stufe wird der Laserstrahl auf eine Wiederholfrequenz von mindestens 15 kHz eingestellt, auf die erste Metallschicht fokussiert und mit einer ersten Umlaufgeschwindigkeit in einem Kreis entsprechend dem Durchmesser des gewünschten Loches in so vielen Durchgängen bewegt, bis zumindest die erste Metallschicht durchschnitten ist, wobei die Metallschicht im Lochbereich vollständig entfernt wird und
- in der zweiten Stufe wird der Laserstrahl auf eine gleiche oder geringere Wiederholrate wie in der ersten Stufe eingestellt, außer Fokus auf die im Loch freigelegte Dielektrikumsschicht gerichtet und mit einer Umlaufgeschwindigkeit, die höher ist als die erste, in einem oder mehreren 20 konzentrischen Kreisen innerhalb des gewünschten Lochdurchmessers in so vielen Durchgängen bewegt, bis die Dielektrikumsschicht im Lochbereich abgetragen ist, wobei die Defokussierung und/oder die zweite Geschwindigkeit derart eingestellt werden, daß die wirksame Energiedichte in der zweiten Stufe unterhalb der Schwelle für eine Abtragung 25 der zweiten Metallschicht liegt.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird also nicht wie beim Stand der Technik zur Verringerung der wirksamen Energiedichte beim Abtragen des Dielektrikums in der zweiten Stufe die Wiederholfrequenz erhöht, sondern vorzugsweise gesenkt oder 5 allenfalls auf gleichem Wert gehalten wie in der ersten Stufe. Die Verringerung der wirksamen Energiedichte erfolgt vielmehr durch Defokussierung und damit durch eine Vergrößerung des Fleckdurchmessers, auf den der Laserstrahl auftrifft, und außerdem durch eine Erhöhung der Umlaufgeschwindigkeit, wodurch die Einwirkungszeit der einzelnen Laserimpulse 10 auf eine bestimmte Fläche verkürzt wird.

Für das Bohren des Loches in der Metallschicht (Kupferschicht) in der ersten Stufe genügt in der Regel, daß der Laser 15 in einem einzigen Kreis entsprechend dem Durchmesser des gewünschten Loches so oft bewegt wird, bis die Metallschicht kreisförmig ausgeschnitten ist. Bei Durchmessern bis zu 150 μm löst sich dann der ausgeschnittene Metallkern aufgrund des Wärmeeffekts von selbst und springt heraus. Bei größeren 20 Lochdurchmessern kann ein zusätzlicher Impuls zur Erwärmung auf den freigeschnittenen Metallkern gegeben werden.

Um einen sauberen Lochrand in der Metallschicht zu erzielen, wird in der ersten Stufe des Laserbohrens eine hohe Überlappung (> 50%) der Einzelimpulse, die den Kreis bilden, angestrebt. Zu diesem Zweck wählt man für diese erste Stufe eine höhere Wiederholfrequenz von mindestens 15 kHz, vorzugsweise 25 zwischen 20 und 30 kHz. In diesem Bereich liefern die verfügbaren Laser zwar nicht mehr die maximale mittlere Leistung. Doch wird vorzugsweise ein Neodymium-Vanadat-Laser (Nd:VO₄-Laser) verwendet, bei dem der Leistungsabfall bei höheren 30 Wiederholfrequenzen noch relativ gering ist. So kann bei einem 355 nm-Nd-Vanadat-Laser von 3,5 W mit einem Brennfleckdurchmesser von 12 μm eine lineare Umlaufgeschwindigkeit von 35 > 175 mm/s erreicht werden. Bei Lasern mit höherer Leistung können aufgrund höherer Wiederholfrequenzen auch noch höhere Geschwindigkeiten erreicht werden. Entsprechend gut einsetz-

FIG 9

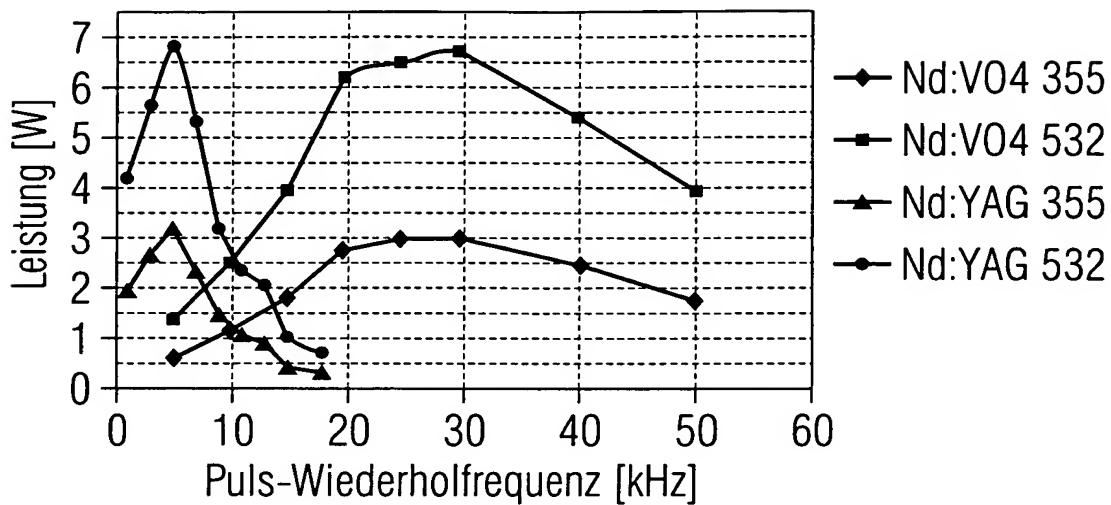
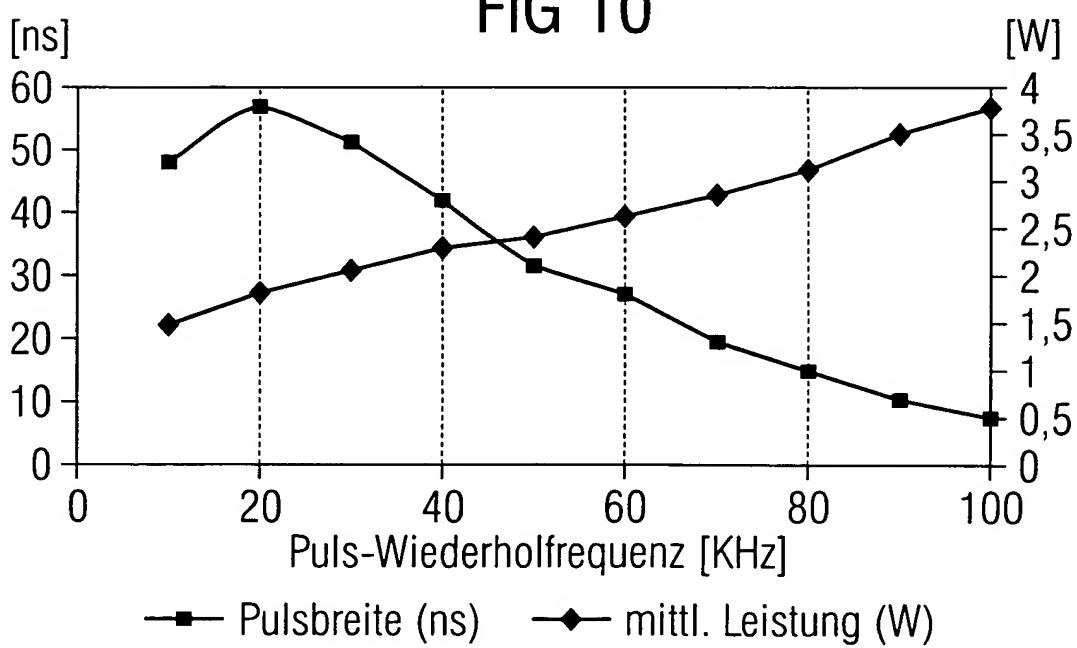


FIG 10



THIS PAGE BLANK (uspto)

bar ist auch ein Neodym-Vanadat-Laser mit einer Wellenlänge von 532 nm.

In der zweiten Stufe kann das dielektrische Material durch 5 Führen des Lasers in mindestens zwei konzentrischen Kreisen abgetragen werden, wobei in diesem Fall keine Überlappung der aufeinanderfolgenden Laserpulse erforderlich ist. Hier wird die Wiederholfrequenz annähernd so gewählt, daß die maximal 10 verfügbare Laserleistung zum Materialabtrag ausgenutzt wird. Diese maximale Leistung ergibt sich bekanntlich bei einer etwas geringeren Wiederholfrequenz, beim Nd:VO₄-Laser also bei 15 etwa 10 bis 20 kHz. Die Anpassung der wirksame Energiedichte auf einen Wert unterhalb der Verdampfungsschwelle für Metall erfolgt in diesem Fall, wie erwähnt, durch Vergrößerung des bestrahlten Fleckdurchmessers, also durch eine Defokussierung 20 bzw. durch eine Veränderung des Vergrößerungsfaktors des Kollimators. Zusätzlich wird vorzugsweise die Umlaufgeschwindigkeit derart erhöht, daß die einzelnen Pulse nicht mehr nur auf einen dem Strahldurchmesser entsprechenden Fleck treffen, sondern ihre Energie durch einen Schmiereffekt auf eine größere Fläche verteilen.

Bei Verwendung eines Nd-Vanadat-Lasers mit höherer Leistung ist es auch denkbar, in der zweiten Stufe den Laserstrahl 25 nicht im Kreis umlaufen zu lassen, sondern den Strahl soweit aufzuweiten, daß er die gesamte Lochfläche überdeckt. In diesem Fall wird das Dielektrikum mit einer zentralen Einstellung des Strahls abgetragen, wobei das in der ersten Stufe aus der Metallschicht ausgeschnittene Loch als Maske dient.

30 Die Erfindung wird nachfolgend an Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen Figur 1 eine schematisch gezeigte Laseranordnung mit einer Einstellung für die erste Stufe des erfindungsgemäßen Verfahrens, 35 Figur 2 die Laseranordnung von Figur 1 mit einer Einstellung für die zweite Stufe des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Figur 3A bis 3C eine Schnittdarstellung eines Substrats in verschiedenen Verfahrensstadien beim Bohren eines Mikroloches in einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,

5 Figur 4 eine schematische Darstellung der Führung des Laserstrahls in der ersten Stufe des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Erzeugung des Loches gemäß Figur 3A und 3B,

Figur 5 eine schematische Darstellung der Führung des Laserstrahls in der zweiten Stufe des erfindungsgemäßen Verfahrens
10 zur Erzeugung des Loches gemäß Figur 3C,

Figur 6A bis 6C einen Schnitt durch ein Substrat in verschiedenen Stadien bei der Erzeugung eines Mikroloches in einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens,

15 Figur 7 eine schematische Darstellung der Laserstrahlführung zur Erzeugung eines Mikroloches in einer Metallschicht gemäß Figuren 6A und 6B,

Figur 8 die schematische Darstellung der Laserstrahlführung in einer Dielektrikumsschicht zur Erzeugung eines Mikroloches gemäß Figur 6C,

20 Figur 9 ein Diagramm zur Darstellung der mittleren Ausgangsleistung verschiedener Halbleiterlaser in Abhängigkeit von der Wiederholfrequenz und

Figur 10 ein Diagramm zur Darstellung der mittleren Ausgangsleistung und der Pulsbreite eines Neodym-Vanadat-Lasers mit
25 355 nm Wellenlänge in Abhängigkeit von der Pulswiederholfrequenz.

Die in den Figuren 1 und 2 schematisch und keineswegs maßstabgerecht gezeigte Anordnung zeigt einen Laser 1 mit einer
30 Ablenkeinheit 2 und einer optischen Abbildungseinheit 3, über die ein Laserstrahl 4 auf ein Substrat 10 gerichtet wird.

Dieses Substrat 10 besitzt eine obere, erste Metallschicht (Kupferschicht) 11 sowie eine zweite Metallschicht 12, zwischen denen eine Dielektrikumsschicht 13 angeordnet ist. Diese Dielektrikumsschicht besteht beispielsweise aus einem Polymermaterial wie RCC oder einem glasfaserverstärkerten Polymermaterial, wie FR4. Während die Metallschicht, die in der

Regel aus Kupfer besteht, immer die gleiche Energiemenge zur Bearbeitung bzw. Abtragung (bei gleicher Dicke und gleichem Volumen) erfordert, hängt die benötigte Energiemenge beim Dielektrikum stark von dessen Zusammensetzung ab. Erwähnt sei 5 noch, daß das Substrat 10 auch aus mehr als den genannten drei Schichten bestehen kann, wobei weitere Metallschichten jeweils durch Dielektrikumsschichten voneinander getrennt sind und wahlweise durch entsprechende Bohrungen miteinander und mit der obersten Metallschicht 11 verbunden werden kön- 10 nen.

Im vorliegenden Beispiel geht es darum, die erste Metall- schicht 11 durch Sacklöcher 14 mit der zweiten Metallschicht 12 zu verbinden, ohne daß die Schicht 12 durchgebohrt wird. 15 Diese Löcher 14 sollen beispielsweise einen Durchmesser von etwa 100 bis 120 μm haben. Sie können aber auch größer oder kleiner sein.

Erfindungsgemäß erfolgt die Bohrung der Löcher in zwei Stu- 20 fen. Figur 1 zeigt die Anordnung für die erste Stufe, wobei der Laserstrahl 4 auf einen Brennpunkt F1 auf der Oberfläche der Schicht 11 fokussiert wird. Die Energie des Laserstrahls wird dabei auf einen Fleck (Spot) mit einem Durchmesser f_1 gerichtet, um die Energie möglichst konzentriert zum Abtrag 25 der Metallschicht 11 einzusetzen. Dabei wird der Laserstrahl in einem Kreis mit dem Durchmesser D_1 bewegt, wie dies in Figur 4 gezeigt ist. Die Umlaufgeschwindigkeit in diesem Kreis D_1 ist so gewählt, daß sich die einzelnen Impulse beispiels- weise mit mehr als 60% überlappen. Auf diese Weise wird ein 30 glatter Rand aus der Metallschicht geschnitten. Je nach Dicke der Metallschicht ist eine bestimmte Anzahl von Kreisumläufen erforderlich, bis diese vollständig durchschnitten ist. Die Figuren 3A und 3B zeigen den zeitlichen Verlauf dieser Stufe 1 in verschiedenen Stadien. Das Metall wird ringförmig gemäß 35 Figur 3A ausgeschnitten, bis die Metallschicht durchtrennt ist. Danach springt (zumindest bei Lochdurchmessern $< 150 \mu\text{m}$)

der abgetrennte Kern aufgrund des Wärmeeffekts von selbst heraus, so daß der Zustand von Figur 3B entsteht.

Nach dem Durchbohren der Metallschicht 11 wird der Laser gemäß Figur 2 so eingestellt, daß der Brennpunkt F2 außerhalb 5 des zu bohrenden Lochbereiches liegt, also beispielsweise $s=2$ mm oberhalb der Kupferschicht 12. Im Bereich der zu bohrenden Schicht trifft der Laserstrahl somit auf einen Fleck mit dem Durchmesser f_2 . Außerdem wird die Wiederholfrequenz vorzugsweise verringert, um die maximale Laserenergie zu nutzen. Der so eingestellte Laserstrahl wird nun wiederum im 10 Kreis bewegt, und zwar zunächst wieder in einem Kreis mit dem Durchmesser D_1 , danach in einem konzentrischen Kreis mit dem Durchmesser D_2 . Für normale Lochdurchmesser und Materialstärken genügen dabei wenige Umläufe, um auf diese Weise das Dielektrikumsmaterial bis auf die zweite Metallschicht 12 vollständig und sauber abzutragen. Auch wenn bei den Umläufen des 15 Laserstrahls nicht die gesamte Lochfläche überstrichen wird, wird doch der Rest des Dielektrikums aufgrund der Wärmeentwicklung mit verdampft. Je nach den Materialien, Materialstärken und dem gewünschten Lochdurchmesser können natürlich 20 auch mehr konzentrische Kreise mit dem Laserstrahl ausgeführt werden. Die Umlaufgeschwindigkeit wird dabei so gewählt, daß die wirksame Energiedichte unterhalb der Schwelle für die Verdampfung der zweiten Metallschicht 12 liegt. Es entsteht 25 schließlich ein Blindloch 14 gemäß Figur 3C.

Wie anhand der Figuren 1 und 2 erkennbar ist, wird zunächst für alle Bohrungen 14 die erste Stufe ausgeführt, d.h., daß für alle vorgesehenen Löcher zunächst die Metallschicht 30 durchbohrt wird, so daß der Zustand gemäß Figur 3B erreicht wird. Danach wird der Laser auf die Stufe 2 eingestellt, und alle Löcher werden durch Abtragen der Dielektrikumsschicht fertiggestellt.

35 Für das in den Figuren 3A bis 3C sowie 4 und 5 dargestellte Beispiel wurden Bohrungen mit einem Nd:VO₄-Laser einer Wellenlänge von 355 nm durchgeführt, und zwar mit einem Durch-

messer von 110 μm . Dabei wurde unter folgenden Bedingungen gearbeitet:

Bedingung	Stufe 1	Stufe 2
Material/Dicke	Cu/12µm	RCC/65-70 µm
Anzahl der Kreis-durchmesser	1	2
Kreisumläufe	4	2
Umlaufgeschwindig-keit	200 mm/s	400 mm/s
Wiederholfrequenz	30 kHz	10 kHz
Fokus	auf (erste) Metall-schicht 11	2 mm oberhalb Me-tallschicht 11
Fleckdurchmesser	13 µm	20 µm
Energie/Puls	0,11 mJ	0,32 mJ
Gesamtenergiedichte (über die Bohrzeit pro Loch aufsum- miert)	525 J/cm ²	84 J/cm ²

Bei dieser Einstellung wurde für die erste Stufe eine Ausbeute von 130 Bohrungen pro Sekunde und in der zweiten Stufe eine Ausbeute von 305 Löchern pro Sekunde erzielt.

Ein weiteres Beispiel mit etwas abgewandelter Einstellung sei anhand der Figuren 6A bis 6C, 7 und 8 erläutert. Wie im vorhergehenden Beispiel besteht die Metallschicht wiederum aus Kupfer, während die Dielektrikumsschicht nunmehr aus mit Glasfaser verstärktem FR4 besteht. Um auch in diesem Fall das Loch möglichst effektiv zu erzeugen, werden in der Stufe 1 mehr Umläufe des Laserstrahls 4 angewandt, als allein für das Durchschneiden der Metallschicht 11 notwendig wäre. Auf diese Weise wird bereits in der ersten Stufe tief in die Dielektrikumsschicht 12 eingeschnitten, zumindest im Randbereich (Figur 6B). Um eine möglichst hohe Laserenergie zur Verfügung zu haben, wird in diesem Fall die Wiederholfrequenz niedriger gewählt, nämlich 20 kHz. Dadurch überschneiden sich die einzelnen Pulse weniger als im vorhergehenden Beispiel, wie in Figur 7 im Vergleich zu Figur 4 zu sehen ist. Dies wird aber

durch die größere Zahl von Umläufen ausgeglichen, so daß trotzdem im Kupfer ein glatter Rand entsteht. In der zweiten Stufe ist der Laser auf die gleiche Wiederholfrequenz von 10 kHz wie im ersten Beispiel eingestellt. Allerdings genügt hier bereits ein Umlauf des Laserstrahls (in zwei konzentrischen Kreisen D1 und D2), um den verbleibenden Rest des Dielektrikums abzutragen. Im einzelnen galten bei diesem Beispiel folgende Werte:

Bedingung	Stufe 1	Stufe 2
Material/Dicke	Cu/12 μm	FR4/65-70 μm
Anzahl der Kreis-durchmesser	1	2
Kreisumläufe	7	1
Umlaufgeschwindigkeit	200 m/s	400 mm/s
Wiederholfrequenz	20 kHz	10 kHz
Fokus	auf erster Metall-schicht 11	2 mm oberhalb Me-tallschicht 11
Fleckdurchmesser	13 μm	20 μm
Energie/Puls	0,19 mJ	0,32 mJ
Gesamtenergiedichte	1036 J/cm^2	42 J/cm^2

10

Bei diesem zweiten Beispiel konnte für die erste Stufe eine Ausbeute von 77 Bohrungen pro Sekunde und in der zweiten Stufe eine Ausbeute von 543 Bohrungen pro Sekunde erzielt werden.

15

In Figur 9 sind die Nd:VO₄-Laser mit 355 nm bzw. 532 nm den entsprechenden Nd:YAG-Lasern hinsichtlich ihrer Leistung bei bestimmten Wiederholfrequenzen gegenübergestellt. Dabei wird deutlich, daß die Nd:VO₄-Laser in ihrer mittleren Leistung oberhalb von 10 kHz Wiederholfrequenz deutlich ansteigen und ihr Maximum zwischen 20 und 30 kHz erreichen, während die Nd:YAG-Laser ihr Maximum bei 5 kHz haben und danach stark abfallen. Daraus wird deutlich, daß die Nd:VO₄-Laser für das erfindungsgemäße Verfahren deutliche Vorteile bieten.

Figur 10 zeigt noch einmal den Verlauf der Leistung zusammen mit der Pulsbreite in Abhängigkeit von der Wiederholfrequenz für einen Nd:VO₄-Laser mit 355 nm Wellenlänge. Daraus wird deutlich, daß in dem vorzugsweise benutzten Bereich der Wiederholfrequenz zwischen 10 und 40 kHz einerseits die mittlere Ausgangsleistung des Lasers im maximalen Bereich liegt, während die Pulsbreite unterhalb von etwa 35 ns liegt.

5

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bohren von Mikro-Löchern (14) in einem Mehrschicht-Substrat (10) mit einer ersten (11) und mindestens einer zweiten (12) Metallschicht und mit jeweils einer zwischen zwei Metallschichten angeordneten Dielektrikumsschicht (13) durch Bestrahlung mit dem Energiestrahl eines Festkörperlasers (1) mit einer Wiederholfrequenz von mindestens 10 kHz, einer Wellenlänge von weniger als 1100 nm und einer Pulslänge von weniger als 50 ns, wobei die Bestrahlung in zwei Stufen derart erfolgt, daß in der ersten Stufe jeweils die erste Metallschicht und ein Teil der darunterliegenden Dielektrikumsschicht und daß in der zweiten Stufe die Dielektrikumsschicht sauber bis auf die zweite Metallschicht abgetragen wird, mit folgenden Schritten:
 - in der ersten Stufe wird der Laserstrahl (4) auf eine Wiederholfrequenz von mindestens 50 kHz eingestellt, auf die erste Metallschicht (11) fokussiert und mit einer ersten Umlaufgeschwindigkeit in einem Kreis entsprechend dem Durchmesser (D1) des gewünschten Loches in so vielen Durchgängen bewegt, bis zumindest die erste Metallschicht (11) durchschnitten ist, wobei die Metallschicht im Lochbereich vollständig entfernt wird, und
 - in der zweiten Stufe wird der Laserstrahl (4) auf eine gleiche oder geringere Wiederholrate wie in der ersten Stufe eingestellt, außer Fokus auf die im Loch (14) freigelegte Dielektrikumsschicht (13) gerichtet und mit einer Umlaufgeschwindigkeit, die höher ist als die erste, in einem (D1) oder mehreren (D2) konzentrischen Kreisen innerhalb des gewünschten Lochdurchmessers in so vielen Durchgängen bewegt, bis die Dielektrikumsschicht im Lochbereich abgetragen ist, wobei die Defokussierung (s) und die zweite Geschwindigkeit derart eingestellt werden, daß die wirksame Energiedichte in der zweiten Stufe unterhalb der Schwelle für eine Abtragung der zweiten Metallschicht liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß ein Neodymum-Vanadat-Laser mit einer Wellenlänge von 355 nm verwendet wird.

5

3. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß ein Neodymum-Vanadat-Laser mit einer Wellenlänge von 532 nm verwendet wird.

10

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, daß die Wiederholfrequenz in der ersten Stufe zwischen etwa 15 kHz und etwa 40 kHz und in der zweiten Stufe zwischen etwa 10 kHz und 15 kHz eingestellt wird, wobei die Wiederholfrequenz in der zweiten Stufe immer gleich oder niedriger ist als in der ersten Stufe.

15 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, daß die Wiederholfrequenz in beiden Stufen auf 15 kHz eingestellt wird.

20 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, daß die Umlaufgeschwindigkeit des Laserstrahls (4) in der ersten Stufe zwischen 200 und 300 mm/s und in der zweiten Stufe zwischen 200 und 600 mm/s beträgt, in jedem Fall aber höher ist als in der ersten Stufe.

25 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, daß die Umlaufgeschwindigkeit in der zweiten Stufe höher als 600 mm/s beträgt.

30 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, daß bei einem gewünschten Lochdurchmesser $> 150 \mu\text{m}$ in der ersten Stufe ein

zusätzlicher Kreis von Laserimpulsen auf den Bereich innerhalb des vom Laserstrahl (4) beschriebenen Kreises (D1) gerichtet wird.

5 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zunächst für alle Löcher eines Bearbeitungsbereiches die erste Stufe ausgeführt wird, daß dann die Lasereinstellung verändert und die zweite Stufe für alle Löcher des Bereichs durchgeführt
10 wird.

10. Verfahren zum Bohren von Mikro-Löchern (14) in einem Mehrschicht-Substrat (10) mit einer ersten (11) und mindestens einer zweiten (12) Metallschicht und mit jeweils einer zwischen zwei Metallschichten angeordneten Dielektrikumsschicht (13) durch Bestrahlung mit dem Energiestrahl eines Festkörperlasers (1) mit einer Wiederholfrequenz von mindestens 10 kHz, einer Wellenlänge von weniger als 1100 nm und einer Pulslänge von weniger als 50 ns, wobei die Bestrahlung in
20 zwei Stufen derart erfolgt, daß in der ersten Stufe jeweils die erste Metallschicht und ein Teil der darunterliegenden Dielektrikumsschicht und daß in der zweiten Stufe die Dielektrikumsschicht sauber bis auf die zweite Metallschicht abgetragen wird, mit folgenden Schritten:

25 - in der ersten Stufe wird der Laserstrahl (4) auf eine Wiederholfrequenz von mindestens 50 kHz eingestellt, auf die erste Metallschicht (11) fokussiert und mit einer ersten Umlaufgeschwindigkeit in einem Kreis entsprechend dem Durchmesser (D1) des gewünschten Loches in so vielen Durchgängen bewegt, bis zumindest die erste Metallschicht (11) durchschnitten ist, wobei die Metallschicht im Lochbereich vollständig entfernt wird, und
30 - in der zweiten Stufe wird der Laserstrahl auf eine gleiche oder geringere Wiederholfrequenz wie in der ersten Stufe eingestellt, und zentrisch auf die im Loch freigelegte Dielektrikumsschicht gerichtet, wobei der Strahl derart defokussiert wird, daß der von ihm bestrahlte Fleck minde-

stens so groß ist wie die Fläche des zu bohrenden Loches, derart, daß das in der ersten Stufe ausgeschnittene Loch in der Metallschicht als Maske wirkt.

5 11. Verfahren nach Anspruch 10,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß ein Neodymium-Vanadat-Laser mit einer Wellenlänge von 532 nm verwendet wird.

1/4

FIG 1

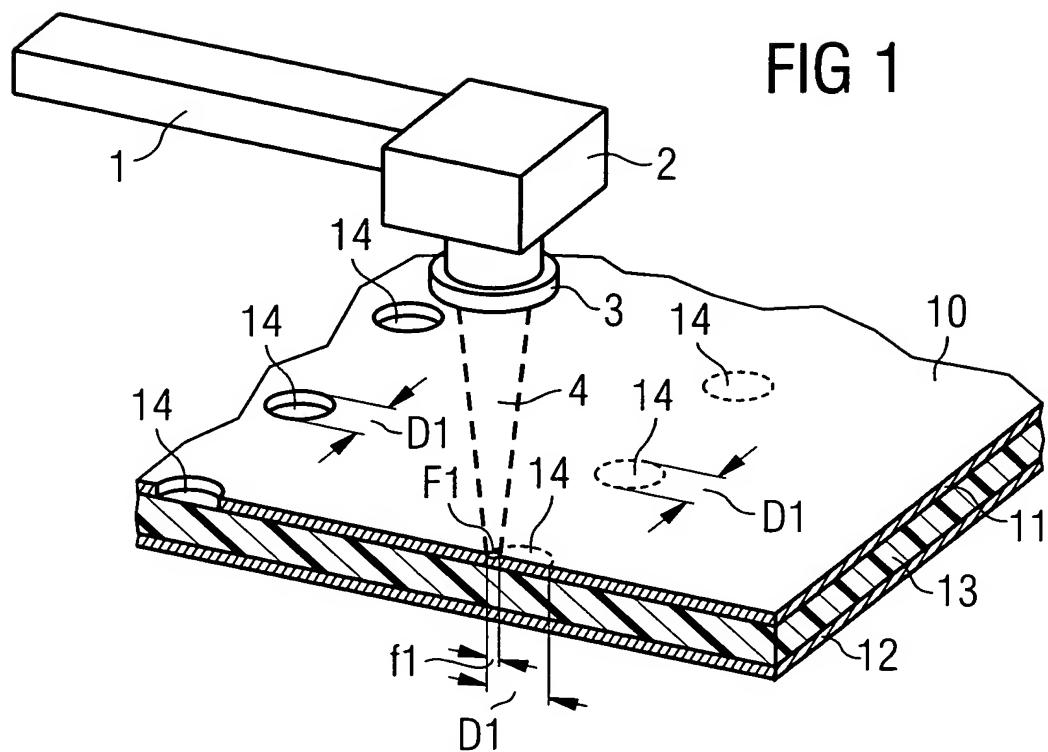
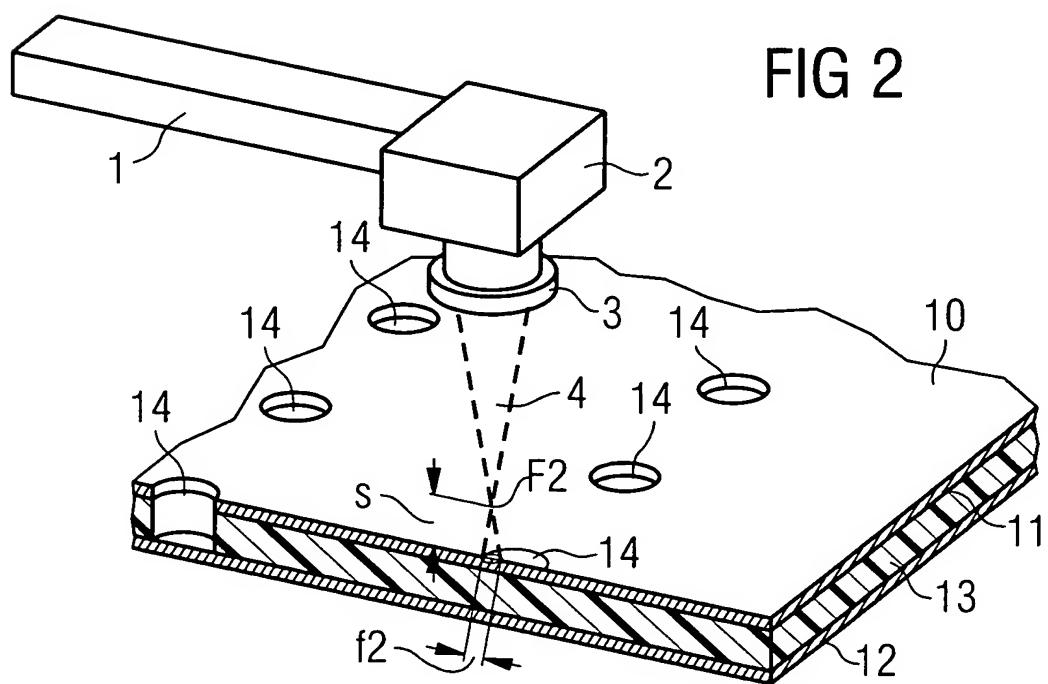


FIG 2



Zusammenfassung

Verfahren zum Bohren von Mikrolöchern mit einem Laserstrahl

5 Zum Bohren von Mikrolöchern in einem Mehrschichtsubstrat mit einer ersten und mindestens einer zweiten Metallschicht (11,12) und mit jeweils einer zwischen zwei Metallschichten angeordneten Dielektrikumsschicht (13) wird ein Festkörperlaser (1) eingesetzt, mit dessen Strahl in einer ersten Stufe 10 die erste Metallschicht (11) und in einer zweiten Stufe die Dielektrikumsschicht (13) bis zur zweiten Metallschicht (12) abgetragen wird. In der ersten Stufe wird der Laserstrahl auf eine Wiederholfrequenz von mindestens 15 kHz eingestellt, auf die erste Metallschicht fokussiert und in einem Kreis entsprechend dem Durchmesser des gewünschten Loches in so vielen Durchgängen bewegt, bis diese Metallschicht durchschnitten ist. Danach wird der Laserstrahl in der zweiten Stufe auf eine vorzugsweise geringere Wiederholfrequenz eingestellt, außer Fokus auf die im Loch freigelegte Dielektrikumsschicht 15 (13) gerichtet und mit einer gegenüber der ersten Stufe höheren Umlaufgeschwindigkeit in einem oder mehreren konzentrischen Kreisen bewegt, bis die Dielektrikumsschicht im Lochbereich abgetragen ist. Die wirksame Energiedichte in der zweiten Stufe wird durch Einstellung der Defokussierung und der 20 Umlaufgeschwindigkeit so gewählt, daß die wirksame Energiedichte unterhalb der Schwelle für eine Abtragung der zweiten Metallschicht liegt.

FIG 1

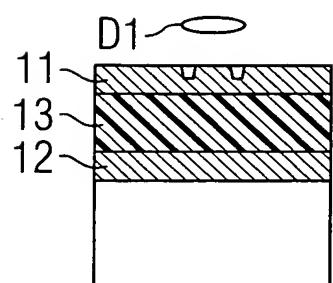
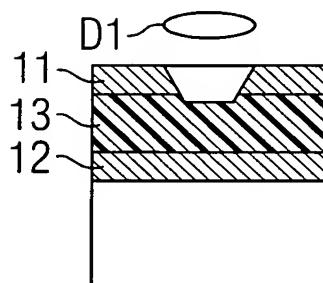
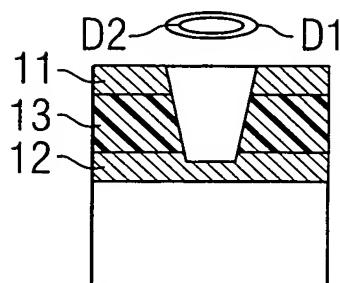
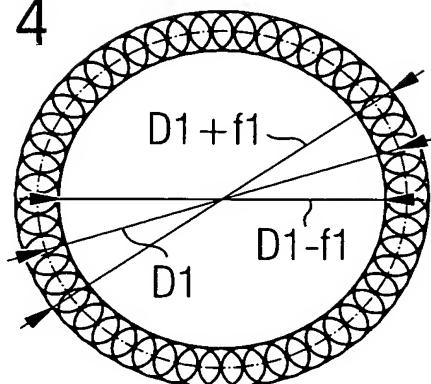
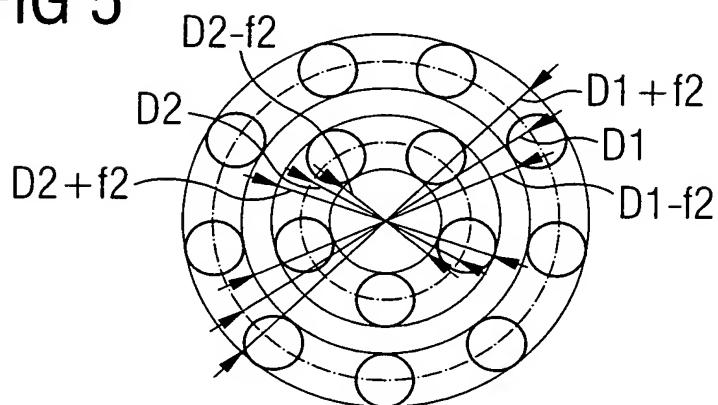
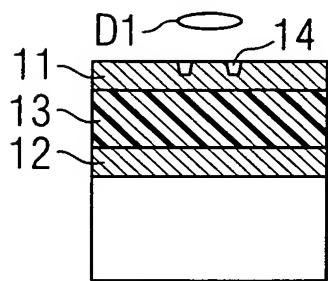
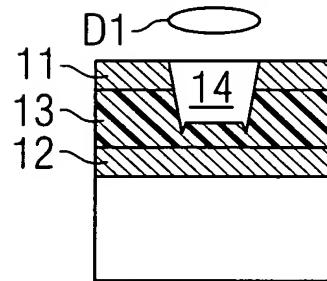
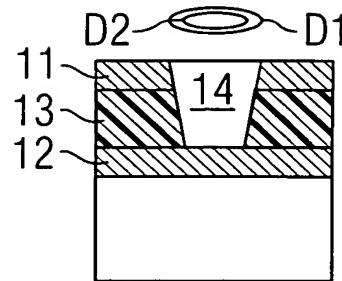
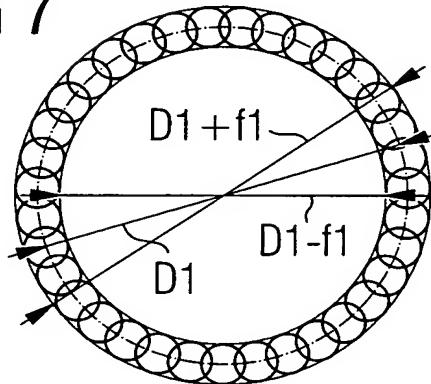
FIG 3A**FIG 3B****FIG 3C****FIG 4****FIG 5**

FIG 6A**FIG 6B****FIG 6C****FIG 7****FIG 8**